

## 中華チェーン店の厨房の温熱環境解析 (第2報) 置換換気方式による温熱環境の改善

Thermal Environment Analysis of a Chinese Restaurant Chain Kitchen

Part 2: Improvement of the Thermal Environment through Displacement Ventilation

正会員○中川 友貴 (東京ガス) 技術フェロー 大森 敏明 (東京ガス) 正会員 富永 隆一 (東京ガス)  
非会員 鍵屋 慎一 (東京ガス) 非会員 大野 光晴 (ハイデイ日高) 正会員 王 利彰 (関西国際大学)  
正会員 成田 洋 (NRT システム) 正会員 伊藤 芳規 (シニリトルジャパン)  
非会員 鈴木 茂 (井之上事務所) 正会員 佐藤 和幸 (東京ガス)

Yuki NAKAGAWA \*<sup>1</sup> Toshiaki OMORI \*<sup>1</sup> Ryuichi TOMINAGA \*<sup>1</sup> Shinichi KAGIYA \*<sup>1</sup>

Mitsuharu OONO\*<sup>2</sup> Toshiaki OH\*<sup>3</sup> Hiroshi NARITA\*<sup>4</sup> Yoshiki ITO\*<sup>5</sup> Shigeru SUZUKI\*<sup>6</sup> Kazuyuki SATO \*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Tokyo Gas Co.,Ltd. \*<sup>2</sup> HIDAY Co.,Ltd. \*<sup>3</sup> Kansai University of International Studies

\*<sup>4</sup> NRT SYSTEM Co.,Ltd. \*<sup>5</sup> Cini-Little Japan, Inc. \*<sup>6</sup> Inoue Office

Commercial kitchens have multiple ventilation and air-conditioning inlets and outlets resulting in very complicated air flow patterns. To provide comfortable and low energy kitchens, it is necessary to design a one-way air flow from supply to exhaust. In this paper, a displacement ventilation method for the kitchens of a Chinese restaurant chain is envisaged through a repositioning of air-conditioning and air supply vents. A coupled convection-radiation simulation is conducted to estimate the effects of this method on the thermal environment.

### 1. 諸言

業務用用途に使用される厨房は、千差万別であり設備のグレードも様々である。快適な温度環境かつエネルギー消費量の少ない厨房を実現するためには、これらの設備が合理的に配置され、かつ適切に運転されることが望まれる。しかし、厨房に流入・流出する空気の流れを現場レベルで合理的に制御することは極めて難しい。このような複雑な空気の流動を伴う厨房の合理的な設計手法として、CFDの利用が有効である。CFDを利用することで給気口や排気口ごとに、流入・流出する空気の混合状況を詳細に分析することができる。伊藤らは、調理施設の環境改善に結び付けることを目的として、中華チェーン店を対象に調理作業と温熱環境を測定し分析している<sup>(1)</sup>。我々はこれまでに、この中華チェーン店の厨房を対象として、対流・放射連成シミュレーションにより温熱環境を予測して測定結果と比較を行った<sup>(2)</sup>。その結果、厨房に設置された排気フードからの排気量に分布を与えることで厨房の温熱環境が改善することが示された。一方で、一般的な混合換気方式で構成された中華チェーン店の厨房では、エアコン出口、外気導入口、および排気フードが隣接して配置されているため、排気フード近傍の気流の乱れが大きいこと、およびエアコンから排出される冷気と外気が混合し、十分な冷房効果を発揮して

いないことが予測された。

本報では、中華チェーン店の厨房に給気口と排気口を対向壁に設置することによって、空調された新鮮外気が作業空間を通じて調理用熱器具方向に導かれ、調理に伴う排気と共に滑らかにフードに捕集されるように意図した、置換換気方式による「OWF (One-Way-Flow) 厨房」を提案し、その効果を解析によって確かめる。

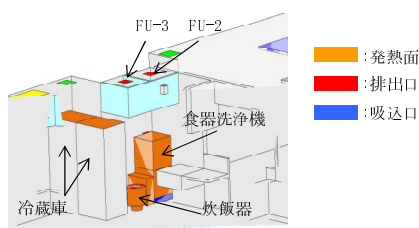
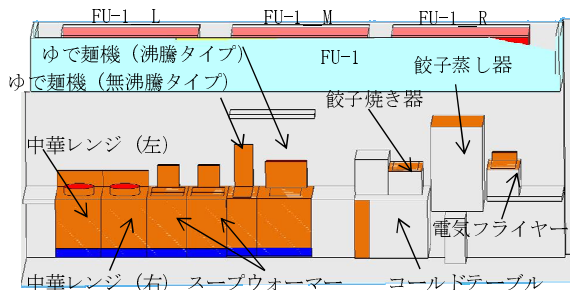
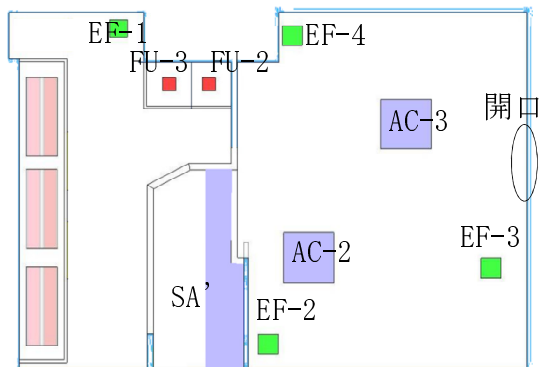
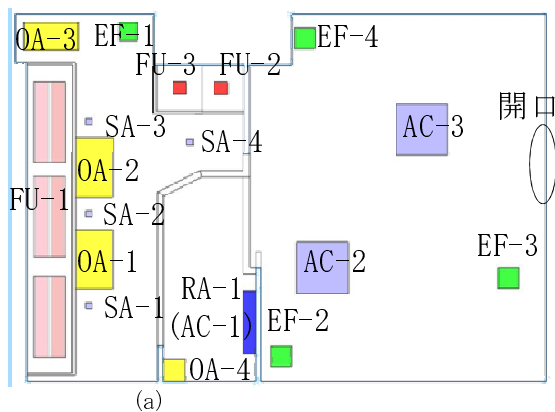
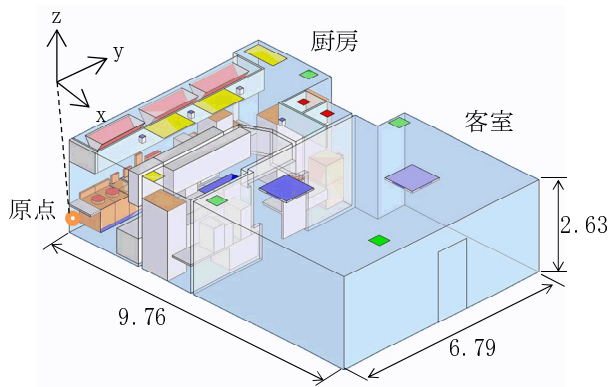
### 2. 解析方法

#### 2.1 解析モデルと解析ツール

流体解析では Lien ら<sup>(3)</sup>の低レイノルズ型  $k-\epsilon$  乱流モデルを用い、メッシュが粗いところは高レイノルズ数型  $k-\epsilon$  モデルに自動的に切り替わる Hybrid 機能を使用した。計算アルゴリズムは SIMPLE 法、差分スキームは一次精度風上差分を用いた。放射解析は Monte-Carlo 法によって形態係数を算出し、対称化演算によって精度を向上させた<sup>(4)</sup>。

#### 2.2 解析対象と解析メッシュ

図1に解析対象とする既存の中華チェーン店概要を示す。厨房は空調・換気機器、厨房機器ともできるだけ実際に近い形状とし、客席は空調・換気機器以外を省略した形状とした。この店舗の排気フード・給気口・排気口位置は図2(a)に示すとおり、「混合換気方式」(Case1)となっている。厨房では、給気口 0A-1~0A-4 から外気が



給気され、排気フードFU1～3 および天井に設置された排気口 EF-1 から屋外に排出される。SA-1～SA-4 はエアコン AC-1 の吹出口、RA-1 は吸込口であり吹出流量 (SA-1～SA-4 の合計) と同じ流量が吸い込まれる。客室については、EF-2～EF-4 は排気口であり、AC-2、AC-3 はエアコンで吹出口と吸込口があり、吹出流量と同じ流量が吸い込まれる。また、店舗出入口を想定した開口を設け、外気が自由に流入する。

図 2(b) に提案する「OWF 厨房」(Case2) の排気フード・給気口・排気口位置を示す。OWF 厨房では、図 2(a) に示した混合換気方式の厨房に設置された給気口 OA-1～OA-4 並びにエアコン AC-1 の吹出口 SA-1～SA-4 および吸込口 RA-1 を全て取り除き、厨房空間に新鮮外気が給気される方式とした。吹出し口 SA' は排気フード FU-1 の対抗面に位置するように設け低速で鉛直下方に吹出す。図 3 に調理用ガス機器と冷蔵庫等の熱を発生する付帯設備を示す。ガス機器である中華レンジ、スープウォーマ、ゆで麺機がそれぞれ 2 台、電気機器である餃子焼き器、餃子蒸し器、電気フライヤー、コールドテーブルが配置され、それらの上方にはこれらの排気を捕集する排気フード FU-1 が設置されている。また、ガス機器である炊飯器と食器洗浄機、電気機器である冷蔵庫があり、食器洗浄機の上方には排気フード FU-2、炊飯器の上方には排気フード FU-3 が設置されている。

解析メッシュは空間セルが約 420,000 個、固体面メッシュ数が約 34,000 個である。放射解析では、グルーピングをおこない固体面セグメント数は約 4,500 個である。

### 2.3 境界条件

#### (1) 熱機器の解析条件

表 1 に熱機器の解析条件を示す。熱機器の負荷率はピーク時を想定し炊飯器および食器洗浄機を除いて 100% とした。炊飯器および食器洗浄機の負荷率は、それぞれ 30% および 50% とした。機器の表面温度は、負荷率 100% 時の測定値を与えた。中華レンジ (右) は測定時に使用していなかったため負荷率を 0% と設定した。都市ガスの燃焼によって、機器から排出される排気の流れは、機器の定格消費量と負荷率、および熱効率より算出した値を用いた。燃焼で発生する水蒸気は考慮し、ゆで麺器の水面から発生する水蒸気は無視した。

#### (2) 給気・排気の解析条件

表 2 に給気量および排気量の解析条件を示す。Case1 は混合換気方式の給気・排気条件である。排気フード FU-1～FU-3 から排気される排気量および給気口 OA-1～OA-4 から給気される給気量は実測値をもとに与えた。給気口 OA-1～OA-4 からは 25℃、相対湿度 50% の空気が下方に吹き出す。厨房に設置されたエアコン AC-1 の出口温度は 20℃、客室に設置されたエアコン AC-2 および AC-3 の出口温度は 24℃ とし、相対湿度は 80% とした。外気と接

表1 熱機器の解析条件

調理機器	ガス定格消費量[kW]	負荷率 [%]
ゆで麺機 (沸騰タイプ)	18.0	100
ゆで麺機 (無沸騰タイプ)	9.3	100
スープウォーマ	3.3	100
中華レンジ (左)	29.1	100
炊飯器	8.4	30
食器洗浄機	18.6	50

表2(a) 給気および排気の条件、Case1 (単位: m<sup>3</sup>/h)

場所	給気		排気	
厨房	OA-1	2500	FU-1_L	2566
	OA-2	2500	FU-1_M	2566
	OA-3	2500	FU-1_R	2566
	OA-4	270	FU-2	0
	AC-1_SA	1620	FU-3	0
			(FU 合計)	(7698)
		EF-1	270	
		AC-1_RA	1620	
客室	AC-2_SA	1560	EF-2	330
	AC-3_SA	1560	EF-3	330
	開口	1188	EF-4	330
			AC-2_RA	1560
			AC-3_RA	1560
合計	13698		13698	

表2(b) 給気および排気の条件、Case2 (単位: m<sup>3</sup>/h)

場所	給気		排気	
厨房	SA'	4566	FU-1_L	2244
			FU-1_M	1122
			FU-1_R	1122
			FU-2	700
			FU-3	0
			(FU 合計)	(5187)
			EF-1	270
客室	AC-2_SA	1560	EF-2	33
	AC-3_SA	1560	EF-3	33
	開口	990	EF-4	33
			AC-2_RA	1560
			AC-3_RA	1560
合計	8676		8676	

した客室の開口からは 29.5℃、相対湿度 54%の空気が流入する。

Case2 は OWF 厨房の給気・排気条件である。OWF 厨房では排気フード FU-1~FU-3 から排気される排気量の合計がガス機器定格燃焼量の 40KQ になるように与えた。その

ため排気フードからの合計値 5187 m<sup>3</sup>/h は Case1 の排気量の合計値 7698 m<sup>3</sup>/h より 30%程少なくなっている。各排気フードから排気される排気量については、前報<sup>(2)</sup>で提案した排気量分布を用い、中華レンジ近傍の排気フード FU-1\_L の排気量が大きくなるよう FU-1\_L、FU-1\_M、FU-1\_R についてそれぞれ 2:1:1 の分布を与えた。また、食器洗浄機上の排気フード FU-2 の排気量は食器洗浄機の 40KQ とし、炊飯器上の排気フード FU-3 の排気量は 0 とした。給気口 SA' からの給気量は、厨房に必要な供給量がまかなえるよう熱機器の 40KQ に排気口 EF-2 の排気量を加えた量とした。給気口 SA' から吹出される空気の性状は、混合換気厨房 (Case1) のエアコン AC-1 を通過する空気のエンタルピー変化量と等しくなるように、温度 25.9℃、相対湿度 80%とした。外気は 29.5℃、相対湿度 54%とした。客室に設置された 3 箇所の排気口 EF-2~EF-4 からの排気量は、Case1 の 10%とし、差分を排気フードからの排気量に加えた。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 空気温度分布および流速分布

図 4(a) に厨房の高さ 1.1 m の空気温度分布を示す。OWF 厨房 (Case2) では混合換気厨房 (Case1) と比較して空気温度が低く一様であることが分かる。図 4(b) に調理機器手前 50cm の空気温度分布を示す。調理人が作業をおこなう領域として高さ z=0~1.9 m の範囲に着目すると、Case2 では Case1 と比較して空気温度が低下し、分布が小さくなっていることが分かる。図 4(c) に排気フード FU-1 の中心断面における空気温度分布と速度分布を示す。Case1 では局所的に設けられた給気口 SA からの気流によって、排気フード FU-1 近くの流速分布が乱れていることに対し、Case2 では給気口 SA' から排気フード FU-1 まで乱れが少なく流れており、熱機器の燃焼排気が壁面に沿って排気フード FU-1 に捕集されていることが分かる。これより、OWF 厨房では混合換気方式と比較して、排気フードからの排気量が 30%少ない条件でも調理人が作業するエリアで空気温度が低下し一様になっていることが分かる。一方で、Case2 では天井近くの空気温度が Case1 と比較して高いことが示された。この要因としては以下が挙げられる。①Case1 では天井近くに給気口 SA が設置されており、フードから溢流した燃焼排気が空調給気と混合するため天井近くの空気温度が高くなりやすい。②混合換気方式で設計された厨房の形状に変更を加えず、給気口の位置のみを排気フードから離れたため、中華レンジでは給気口と排気フード FU-1 の間に設けられている吊戸棚や保管庫等が流れを乱すことで燃焼排気が一部溢流している。ただし、図 4(c) に示すゆで麺器近くでは OWF においてもフードからの燃焼排気溢れが小さい。以上より、OWF 厨房を採用する場合、フードに向かう給気流が吊戸棚などにより乱されないように留意する

必要があることがわかった。また、今回の解析では、空調機を通過する空気のエンタルピー変化量を等しくしたが、吹出し温度が高いOWFではCOPが高くなる。今後、実際の空調機性能を解析条件に反映させることが必要であると考えられる。

### 3.2 固体表面温度分布

図4(d)に固体表面温度分布についてCase1とCase2の結果を示す。Case2はCase1と比較して、中華レンジ、スープウォーマ、およびゆで麺機近傍の床温度と調理台背面温度が高いことが分かる。床温度が高い理由としては、Case1ではCase2に比べて床近くの速度が大きく壁面を冷却しやすいこと、および、天井面温度が低いことが挙げられる。調理台背面温度が高い理由としては、換気量が小さいことに加えて図4(c)の流速分布に示すようにCase2では熱機器近傍の燃焼排気を含む流れが壁面に沿って滑らかに排気フードに流れ込んでいることが理由として考えられる。

### 4. 結言

一般的な混合換気方式で構成された中華チェーン店を対象に、給気口と排気口を対向壁に設置することによる置換換気方式のOne-Way-Flow(OWF)を提案した。厨房に設置されたエアコンを通過する気体のエンタルピー変化量が等しい条件下で混合換気厨房とOWF厨房で解析を行い両者を比較し、以下の知見を得た。

- (1) OWF厨房では混合換気厨房より約30%少ない換気量となるが、厨房の高さ1.1mの領域および厨房手前0.5mにおいて空気温度が低下し、一樣になる。
- (2) OWF厨房では天井近くの空気温度が混合換気厨房と比較して高くなった。OWF厨房の有効性を充分に活用するため、排気補集性能を検討するとともに、空調給気がスムーズに排気フードに導かれるよう天井付近に障害物が置かれないう留意する必要がある。
- (3) 固体表面温度分布に着目すると、OWF厨房では混合換気厨房と比較して、中華レンジ、スープウォーマ、およびゆで麺機近傍の床温度と調理台背面温度が局所的に高くなった。
- (4) 今回の解析では、空調機を通過する空気のエンタル

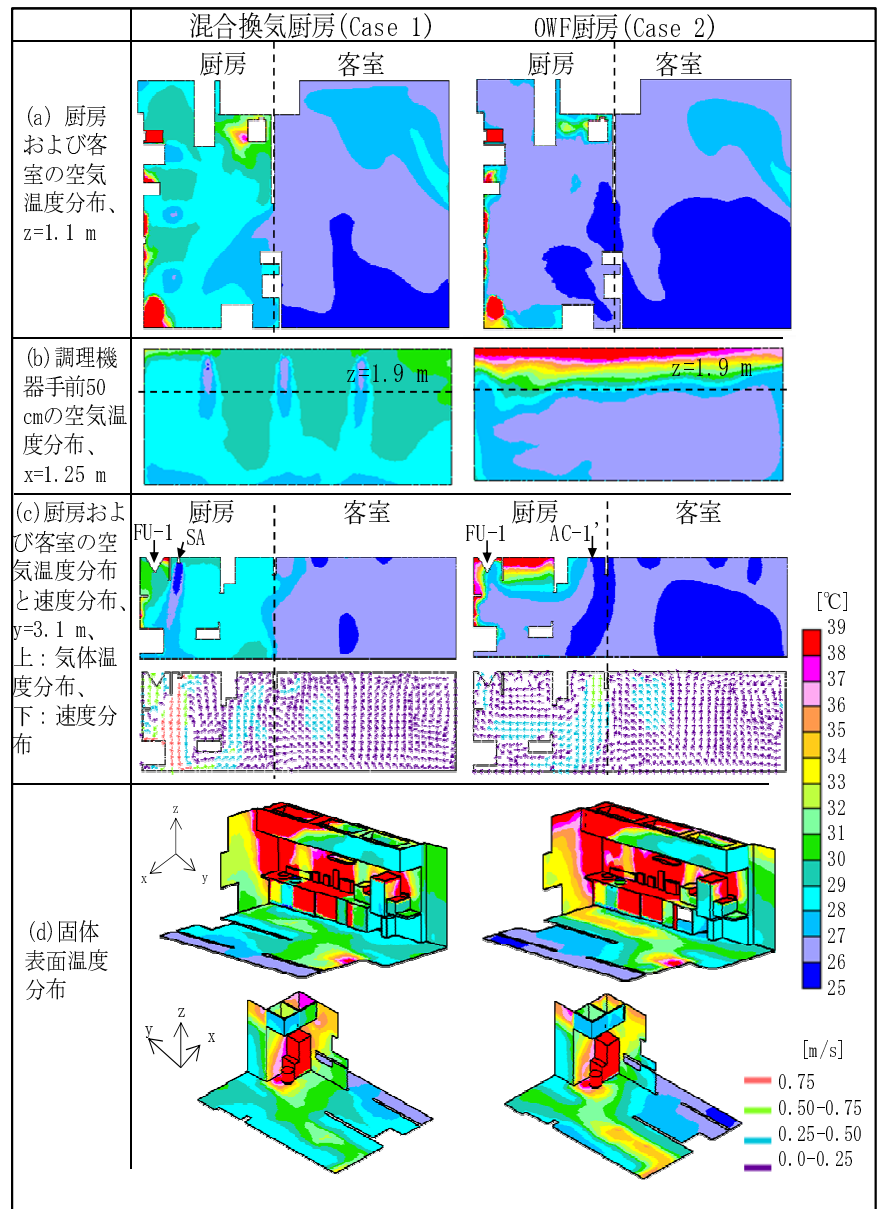


図4 解析結果

ピー変化量を等しくしたが、吹出し温度が高いOWFではCOPが高くなる。今後、実際の空調機性能をシミュレーションに反映させることが必要である。

### 参考文献

- 1) 伊藤他：空気調和・衛生工学会論文集、No.2(2010), pp.1443-1446
- 2) 中川他：空気調和・衛生工学会論文集、No.3(2011), pp.1981-1984
- 3) F.S. Lien, et al.: Proc. 3rd Symposium On Engineering Turbulence Modeling and Measurements, (1996), pp.1-10
- 4) 大森他：空気調和・衛生工学会論文集、No.90(2003), pp.93-10

### 謝辞

本研究は「最適厨房研究会」(会長 王 利彰関西国際大学教授)の外食研究部会研究活動の一環として実施した。解析を実施するに当たり、メンバーの皆様から多大なご協力と貴重なご助言をいただいた。ここに感謝の意を表す。